

EP 0126787A

Method of laser-welding and plastic optimised for this purpose

The invention relates to a welding method according to the introductory part of Claim 1.

In the processing of plastic films there are many applications requiring planar thick seams of high strength. Such joints are produced mainly by thermal impulse and thermal sealing methods. In both methods heat is supplied from the outside through the films lying on top of one another until the welding temperature is reached in the surface therebetween. The speed of work is thus limited by the low thermal conductivity of the material to be welded. In order to raise the temperature gradient the films are frequently laminated with a thin polyester layer of relatively high heat resistance or the sealing bars are coated with Teflon fibre glass by which means adhesion and build-up of the plasticized monofilm is prevented. The shortening in welding time achieved justifies this additional expense. Nevertheless in this way the thermal impulse and thermal sealing methods have reached the physical limit of increasing speed.

Attempts have therefore been made to raise the thermal conductivity of plastics by adding more highly conductive fillers. An appreciable improvement is only obtained, however, at the highest possible levels of additive which in turn have the consequence of other unwanted physical changes in the system, a reduction in elastic strength for instance.

In DE-OS 16 29 219 an He-Ne laser is described as the energy source for welding plastics whose wavelength is at an absorption peak of the plastic. Such lasers are completely unsuitable, however, for the envisaged purpose since they deliver only very low levels of power.

DE-AS 2826 856 from the same applicant discloses the better utilisation of the major portion otherwise lost of the laser radiation passing through when two thin films are welded in that the laser beam is repeatedly reflected through the seam region from the outside by following elements. Due to cumulative reflection losses and scattering compact homogeneous seams cannot be achieved by this method.

DE-OS 26 47 082 discloses a method for guiding two metal strips together via counterrotating rolls in such a way that both strips are welded to one another by a laser beam incident in the roll gap. In this way use is made of the fact that the surface of the metal strips largely absorbs the radiation and rapidly passes it on as heat into the region of the seam. In the case of plastics this method would be uneconomically slow since they are poor conductors of heat and, for example, the most commonly used one, polyethylene, absorbs only a fraction of the incident radiation from a CO<sub>2</sub> laser.

It is an object of the invention to increase the welding speed of plastic films substantially and to optimise the interaction between the laser radiation and the material to be welded in that a plurality of beams decoupled or formed by beam division and focussed are controlled in terms of both time and space in such a way that the formation of the seams can be varied according to weld depth and width as well as spacing relative to one another and pattern (design) and the welding device is designed in such a way that the films converge along the intensity pattern of the beams, to control the welding speed with the aim of obtaining homogeneous, strong and water-tight seams and to modify the plastic by means of suitable additives in such a way that as far as possible loss-free conversion of the incident energy into heat of fusion is achieved.

This task is solved in a method according to the generic

category by the characterising features of Claim 1.

For the economic utilisation of the laser energy polyethylene in particular on account of its broader melting range by comparison with other thermoplastics proved in trials to be suitable for automatic operation. By means of additives for which an absorption peak in the laser wavelength range has been determined, inorganic minerals and industrial products for instance, the low inherent absorption of the polyethylene is increased. By incorporating reflecting metal particles in the thermoplastic base material multiple reflection of the incident radiation within the film and hence repeated internal absorption has been successfully achieved. These measures and particularly the combination of absorbing fillers with reflecting particles give rise to substantially better utilisation of the laser radiation. It has been found that flake-like aluminium grindings are particularly suitable because through the guidance of the film the layering of these flakes in the polymer could be adapted to the intensity of the radiation.

The method developed allowed for the first time the production at extraordinarily low cost of a hose used for watering purposes.

For this application one or both of the films forming the hose is perforated at intervals for water to escape. The method, however, is not limited to joining two films, another web or sections can be attached. It has proved to be advantageous, for example, to provide the previously inserted holes with an attached overarching shield so that water can only trickle out. Another refinement of the invention provides for a plurality of chambers running in parallel to be formed with the aid of broken to continuous seams. For various applications in watering with specific demands for water holes of a certain

size are arranged at defined intervals and the welded hose is made up in predetermined lengths. Space-saving winding has proved to be effective for the transport and simplified layout of the watering hose produced by the method according to the invention.

The optimisation according to the invention of the interaction between the laser radiation and the polymer has resulted in an industrial welding process for thermoplastic films whose welding speed exceeds those of conventional methods many times over. Another advantage is the marked constancy of quality in the welded seam. The leak-proofness achieved and the extraordinarily high welding factor attained, ie the ratio of the strength of the weld to the strength of the material, mark a significant advance in welding technology. The safety allowance formerly required in film thickness and hence in consumption of material can be reduced considerably by using this method. These advantages of the invention allow not only the improvement of existing products but also the creation of novel, additional products like the watering hose described above.

#### Examples

In order to find ways and means leading to a distinct improvement in the welding speed of strong leakproof seams with sparing consumption of energy it was necessary to carry out a lengthy, material-intensive series of experiments which iteratively resulted in a solution to the problem.

#### Example 1

The problem posed is to optimise the interaction between the laser radiation and the material to be welded. CO<sub>2</sub> lasers operate in the infrared range at 10.6  $\mu\text{m}$ . The high transmission

rate of polyethylene in this wavelength range was counteracted by providing or colouring the plastic with an absorbing additive. Depending on the nature and proportion of the admixture this increases absorption and reduces transmission. Such pigments, for which purpose carbon powder, inter alia, is suitable, absorb the radiation and initiate the movement of heat in the surrounding material. Scanning electron microscope studies show that the encapsulation of colouring pigments composed of master batches is often incomplete so that accumulations of heat on agglomerates can occur. These cause local depolymerization; degradation products evaporating at 335 to 450 °C blow the viscous polymer out of the region of the seam whereupon no reliable weld can be expected. By using furnace soot of low particle size and having a high specific surface of up to 1,000 m<sup>2</sup>/g uniformly distributed in the polymer these phenomena were eliminated. By adding 1 % of soot it was possible to push the transmission of a 250 µm LDPE film in the laser wavelength range comparatively down to 35 %.

#### Example 2

A further advance in efficiency based on the refinement of laser welding described above has been achieved by the following innovation. Proceeding from the knowledge obtained that the forced absorption of the laser radiation in the coloured material does not yet result in the full utilisation of the energy, a solution was to be found to the problem of preventing heat transmission by conduction. Accordingly, the film is welded according to the invention by pure radiant energy and the absorption thereof by the base material. For this purpose fine metal particles are incorporated in uniform distribution into the transparent material which increasingly unravel the high-energy laser beam with increasing penetration depth. If the dosage has been correctly selected radiation loss due to transmission scarcely occurs any more. Preferably, fine aluminium grindings are added to the thermoplastic for this

purpose which on extrusion to form the film are oriented longitudinally. In this way the greatest possible surface coverage may be achieved even when the quantity admixed is small. The aluminium particles act as scattering centres since their surfaces reflect etc a fraction corresponding to their size of the beam of rays into the plastic serving as binding agent until the next particle is encountered. At edges the beams are refracted. This process repeats itself until despite the low absorptivity of the thermoplastic molecules in the region of the seam the radiation is gradually exhausted. The speed of the process has been adjusted in such a way that the incident laser energy undergoes complete extinction due to the described multiple scattering and film guidance and at the same time plasticizes the compound to its melting point. If the weld regions of two films melted in this way are now joined together an excellent welded joint is obtained.

Other examples of the interaction conducted according to the invention between the radiation and the film are presented in the following table.

Type of film	Thickness	Welding method	Performance m/min
--------------	-----------	----------------	----------------------

PP	200 $\mu$ m	Heat sealing	6
PP, grey	400 "	Light beam	6
PE	200 "	Heat sealing	8
LDPE, grey	200 "	Laser	15
LDPE, TiO <sub>2</sub>	200 "	Laser	19
LDPE, black	300 "	Laser	21
LDPE, with Al	300 "	Laser	35
MDPE, black	200 "	Laser	24
MDPE, black and with Al	200 "	Laser	32
MDPE, with Al and black	200 "	Laser	46
MDPE with Al	200 "	Laser	60

Thus, the mode of action is quite different from the conduction of heat from the outside in the conventional welding of thermoplastic materials. The subject matter of the invention is the penetrative effect due to increased absorption of the incident energy. A plurality of routes to this end have been described: by distributing strongly absorbing extraneous particles in the structure of the plastic and three-dimensional conduction of heat emanating from those, by incorporating metal particles which give rise to multiple reflection with progressive absorption and a combination of both procedures. A multiple of the work rate in the laser welding of the plastic equipped according to the invention with fine Al grindings and otherwise largely transparent to the laser radiation is achieved because there is no longer any need to wait for the seam volume to heat up, rather the partial melting of the polymer sets in spontaneously with the incidence of the beam and endures over the range of exposure.

Since due to the low thermal conductivity of the thermoplastics energy escapes only slowly the IR radiation multiply reflected by the scattering centres excites the macromolecules

practically from all sides simultaneously to oscillate. The heat spreading out produces a melt in the irradiated region within milliseconds. The incorporation according to the invention of scattering centres has the advantage by comparison with earlier attempts to weld films by laser radiation that the path of the beam is multiplied. Thus, apart from a small amount of reflectance at the surface of the film the full laser power can be converted into vibrational energy, ie into heat of fusion, and so the effectiveness is substantially higher. The particles of aluminium themselves absorb energy only to a small extent and conduct little heat away from the material.

The mode of action of the invention is illustrated in the drawing and is described in more detail below. The drawing shows:

Figure 1: the intensity distribution in the laser beam and the film guidance adapted thereto;

Figure 2: a view in perspective of the focussing and guidance in space and time of two laser beams; and

Figure 3: a typical product produced from the optimised film with the aid of the method according to the invention.

Thus by means of the control system according to the invention in the method it is achieved that on the preheating section the relatively weak IR radiation in the envelope of the radiation cone impinges on the metal flakes, which have a large surface area by comparison with their thickness, and is continuously absorbed and reflected in the direction of the thickness of the film. On the way into the joining plane the hot core then increasingly influences the system tangentially. The core of the beam also passes through the gap between the rolls with only the side edges of the particles a few micrometers thick.



causing scattering and exercises its penetrative effect over several millimetres until complete extinction. At the same time the requisite remaining heat of fusion is generated accompanied by progressive reflection between the flakes. On this welding section the film melts penetrate one another and in the adjoining cooling section give up their heat to the adjacent material or to the surrounding air and belt guidance system.

The focussed laser beam 1 in Figure 1 is directed in the region of convergence on the gap between the rolls W1, W2 so that it is mirrored like the shape of a ski on the two films 2 carried on the rolls. On these hyperbolic surfaces the films are preheated until enclosing the hot core on their further path they come together on the welding section 4.

Over its diameter  $d$  the laser beam 1 exhibits approximately a distribution of IR intensity  $I$  in line with the Gaussian bell-shaped curve, ie a high energy density in the core (approximately  $10^7$  watts/cm<sup>2</sup>) surrounded by a weak outer ring. This supply of energy is confronted by a high requirement of heat of fusion on the part of the plastic. In order largely to utilise the energy distribution in the melting process the pathway and the residence time of the material to be welded must be adapted to it by appropriate geometry of the film guidance system.

Complete utilisation of the laser power ensues, however, only when the absorption by the plastic rises in line with the energy profile. For this purpose the mechanical arrangement shown in Figure 1 has been dimensioned in such a way that it rotates the plastic molecules with the incorporated particles, eg aluminium grindings, in the region of action of the laser beam by the central angle  $Z$ , ie simultaneously, so that the angle of incidence of the laser beam with the film webs goes on this peripheral route from  $Z$  to zero in the roll nip.

In Figure 2 a device for welding plastic strips 2 with the aid of focussed laser beams is illustrated. The axes of two laser beams 1 form an optical plane in which the strips are brought together by the rolls W1, W2. The rolls are arranged in the region of convergence between the condensing lenses S and their focal points. By changing the spacing between the condensing lenses and the reflection of the beams in the roll nip the seam width and weld depth are set according to requirements and the distance of the seams from one another is regulated by turning the lenses. The diameters of the rollers are adapted to the cross-section and intensity distribution in the beam in such a way that the films 2 in the zone of action of the focussed beam first pass through a preheating zone before they are welded to one another in the optical plane between the rolls. With the aid of opaque stops b the path of the beams and hence the continuous seam can be interrupted when, in the case of watering hoses for instance, water outlets are needed. The lenses are also suitable for shifting the seam laterally simply by moving them apart for a time in association with breaks in the seams. Different seam patterns can be produced in this way.

Since the laser radiation at a wavelength of  $10.6\text{ }\mu\text{m}$  is not visible the elements needed for welding such as deflecting mirrors, beam splitters, lenses S and rolls are adjusted according to the required welding result in a trial run with the film. Since, however, industrial mass products such as extruded films have differences in thickness the welding device illustrated in simplified manner in Figure 2 was provided with contactless thermal sensors 3 which control a plurality of regulating devices. By comparing the heat radiated from the seams the optical plane 4 is fixed in the first adjustment. Differences in temperature between the upper and lower sides of the seams indicate differences in the thickness of the films to which the response is to readjust the vertical position of the

rolls. An optimum welding result has to be continuously ensured. This is obtained by equally strong radiation from all four seam surfaces. This value is also compared electronically with the characteristics stored in the machine control system and, when there is a rising trend for example, the welding speed is increased (because of the higher laser power).

The watering hose 5 shown in Figure 3 illustrates how the method according to the invention may be employed. Based on this embodiment numerous variants including a plurality of chambers and broken seams are conceivable. The hose 5 consists of two inherently similar strips 2 of plastic of which in this embodiment one is perforated at intervals and provided with a shield-like section of film 6. This covering has the effect that water coming out of the hole is dispensed only dropwise. The cover 6 may be stuck on or be sealed in place in the shaded region 7.

## Claims

1. Method and film for welding strip-shaped material by means of laser energy, wherein at least one focussed laser beam is directed into the joining plane of two plastic webs to be welded coming together between rolls, characterised in that:
  - a) the plastic is a thermoplastic film,
  - b) additives incorporated into the plastic improve the conversion of the incident laser energy into heat of fusion,
  - c) the plastic films are guided with changing angle of incidence in accordance with the intensity distribution in the laser beam from partly normal irradiation at the edge of the cone of the beam to tangential irradiation in the core of the beam,
  - d) the beam or beams are controllable in space and time,
  - e) the rolls are adjustable in their spacing relative to one another and relative to the optical plane,
  - f) the heat radiated from one or more seams on at least one surface are used to control the speed of welding,
  - g) the speed of film transport is controlled and
  - h) the welded films are cooled down and processed further directly following the welding operation.
2. Film according to Claim 1, characterised in that polyolefins, in particular medium-density polyethylenes, are employed.
3. Film according to Claim 1, characterised in that particles such as  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  or carbon black absorbing in the laser wavelength range are worked into the plastic.
4. Film according to Claim 1, characterised in that metal

particles reflecting the radiation are worked into the base material.

5. Film according to Claim 4, characterised in that these metal particles are shaped in the form of flakes and are oriented with their greatest extension in the direction of travel of the film web.
6. Film according to Claim 4, characterised in that in the case of polyethylene 2 per cent by weight of flake-shaped aluminium grindings are employed.
7. Method and film according to Claim 1, characterised in that two films interspersed with metal flakes are brought together in a roll nip in such a way that they enclose the beam and prevent lateral escape of the beam by continuous reflection onto one another.
8. Method and film according to Claim 1, characterised in that the metal flakes incorporated into the plastic reduce transmission at the start of the action of the beam and reflect the incident energy onto one another but subsequently present only their low thickness to the beam then entering tangentially.
9. Method according to Claim 1, characterised in that films are joined to form a hose-like web with the aid of two temporarily interrupted to continuously active beams.
10. Method according to Claim 1, characterised in that:
  - a) one or both film webs are perforated at intervals,
  - b) the welded films are joined to another web or sections,
  - c) hose-like webs having parallel chambers and seams interrupted in sections are formed,

- d) the welded strips are cut in adjustable lengths and
- e) the welded product is wound up.

(18)



Eur päisches Patentamt

Eur pean Patent Office

Office eur péen des brevets

(11) Veröffentlichungsnummer:

**0 126 787****A1**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(21) Anmeldenummer: 83105219.6

(51) Int. Cl.<sup>2</sup>: **B 29 C 27/02**  
**B 23 K 26/00**

(22) Anmeldetag: 26.05.83

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
05.12.84 Patentblatt 84/49(84) Benannte Vertragsstaaten:  
BE DE FR GB IT NL(71) Anmelder: Tjaden, Jan  
Vorwaldstrasse 41  
D-8968 Durach(DE)(72) Erfinder: Tjaden, Jan  
Vorwaldstrasse 41  
D-8968 Durach(DE)

(54) Verfahren zum Laserschweißen und hierfür optimierter Kunststoff.

(57) Bei diesem Verfahren wird die Wechselwirkung zwischen der eingestrahnten Laserenergie und der Absorption im thermoplastischen Material optimiert. Es werden geeignete Additive genannt, um die Umwandlung der Laserstrahlung in Wärme im Polymer zu intensivieren und durch Metallschuppen eine Mehrfachreflexion mit jeweiliger Absorption innerhalb des Kunststoffs zu erzielen. Die Folienführung beim Verschweißen erfolgt in der Weise, daß in einer Vorwärmzone die schwächere Energieintensität mit dem Außenbereich des Strahlenkegels teilweise normal, bei Annäherung an den heißen Strahlenkern jedoch zunehmend tangential mit Tiefenwirkung auftritt. Die Kombination dieser Maßnahmen bewirkt eine nahezu vollständige Extinktion der eingestrahnten Energie, so daß sich das Verfahren besonders für die kontinuierliche Verschweißung von bahnenförmigen Kunststoffen eignet.

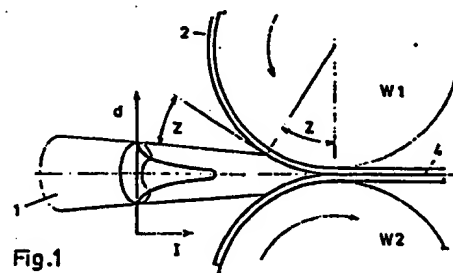


Fig.1

EP 0 126 787 A1

Verfahren zum Laserschweißen und hierfür optimierter  
Kunststoff.

Die Erfindung betrifft ein Schweißverfahren nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Es gibt in der Verarbeitung von Kunststoff-Filmen  
5 viele Anwendungen, die flächige, dichte Nähte mit  
hoher Festigkeit voraussetzen. Solche Verbindungen  
werden hauptsächlich im Wärmeimpuls- und Wärmekon-  
taktverfahren erzeugt. Bei beiden wird von außen  
10 durch die aufeinanderliegenden Folien solange Wärme  
zugeführt, bis in der dazwischenliegenden Fügefläche  
die Schweißtemperatur erreicht ist. Die Arbeitsge-  
schwindigkeit ist also durch die geringe Wärmeleit-  
fähigkeit des Schweißgutes begrenzt. Um den Tempera-  
15 turgradienten steigern zu können, kaschiert man viel-  
fach die Folien mit einer dünnen Polyesterschicht  
höherer Temperaturfestigkeit oder belegt die Siegel-  
backen mit Teflon-Glasseide, wodurch ein Ankleben und  
Aufbauen der plastifizierten Monofolie verhindert  
20 wird. Die erzielte Verkürzung der Schweißzeit recht-  
fertigt diesen zusätzlichen Aufwand. Jedoch haben die  
Wärmeimpuls- und Wärmekontaktverfahren damit die phy-  
sikalische Grenze einer Geschwindigkeitssteigerung  
erreicht.

25 Es ist deshalb versucht worden, die Wärmeleitfähig-  
keit von Kunststoffen durch Zugabe stärker leitender  
Füllstoffe zu steigern. Eine merkliche Verbesserung  
ergibt sich jedoch erst bei höchstmöglicher Beimengung,  
die wiederum andere unerwünschte physikalische  
30 Veränderungen des Systems nach sich zieht, beispiels-  
weis die Dehnfähigkeit verringert.

Als Energiequelle zum Schweißen von Kunststoffen wird  
in der DE-OS 16 29 219 ein He-Ne Laser beschrieben,



dessen Wellenlänge bei einem Absorptionspeak des Kunststoffes liegt. Derartige Laser sind für den angestrebten Zweck jedoch völlig ungeeignet, da sie nur sehr geringe Leistungen bringen.

5

Aus der DE-AS 2826 856 derselben Anmelderin ist bekannt, den beim Treppenschweißen von zwei dünnen Folien hindurchtretenen, sonst verlorenen Großteil der Laserstrahlung dadurch besser auszunutzen, daß mit nachgeschalteten Elementen der Laserstrahl wiederholt von außen durch den Schweißnahtbereich reflektiert wird. Wegen sich summierender Reflexionsverluste und Streuung sind homogene, dichte Nähte mit diesem Verfahren nicht zu erzielen.

15

Aus der DE-OS-26 47 082 ist ein Verfahren bekannt, über gegenläufige Walzen zwei Metallbänder so zusammenzuführen, daß durch einen im Walzenspalt auftretenden Laserstrahl beide Bänder miteinander verschweißt werden. Damit wird die Tatsache genutzt, daß die Oberfläche der Metallbänder die Strahlung weitgehend absorbiert und als Wärme schnell in den Nahtbereich weiterleitet. Dieses Verfahren wäre bei Kunststoffen unwirtschaftlich langsam, da diese schlechte Wärmeleiter sind und beispielsweise das meistgebräuchliche Polyäthylen nur einen Bruchteil der Einstrahlung eines  $\text{CO}_2$ -Lasers absorbiert.

25

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Schweißgeschwindigkeit von Kunststoff-Folien wesentlich zu erhöhen und die Wechselwirkung zwischen Laserstrahlung und Schweißgut dadurch zu optimieren, daß mehrere Strahlen ausgekoppelt oder durch Strahlenteilung gebildet, gebündelt und sowohl zeitlich als auch räumlich so gesteuert werden, daß die Ausbildung der Naht nach

35

Schweißtiefe und -breite, sowie Abstand voneinander

## Beispiele:

Um Mittel und Wege zu finden, die ein drittel V r-  
 besserung der Schweißgeschwindigkeit von dichten, fes-  
 ten Nähten bei sparsamem Energieeinsatz ergeben, waren  
 sehr materialintensive, langwierige Versuchsreihen not-  
 wendig, die iterativ zur Problemlösung führten.

## Beispiel 1

Die Problemstellung besteht in der Optimierung der  
 Wechselwirkung zwischen Laserstrahlung und Schweißgut.

CO<sub>2</sub>-Laser arbeiten im Infrarot-Bereich bei 10,6 µm. Der  
 hohen Transmissionsrate des Polyäthylens in diesem Wellen-  
 längenbereich wurde entgegengewirkt, indem der Kunststoff  
 mit einem absorbierenden Additiv versehen bzw.

eingefärbt wurde. Art und Anteil der Beimischung ent-  
 sprechend, ist dadurch die Absorption verstärkt und die  
 Transmissionsrate reduziert worden. Solche Pigmente, welche

unter anderen Kohlenstoffpulver geeignet ist, absorbieren  
 die Strahlung und leiten die Wärmebewegung des um-  
 gebenden Materials ein. Raster-Elektronen-Mikroskopie

sche Untersuchungen zeigen, daß die Einbettung von Farbpigmenten aus Masterbatches oft unvollständig ist, so

daß es an Agglomerationen zu Wärmestaus kommen kann.  
 Diese verursachen lokale Depolymerisation; bei 335 bis  
 450°C verdampfende Abbauprodukte sprengen dann das zäh-

flüssige Polymer aus dem Nahtbereich, woraufhin eine  
 zuverlässige Verschweißung nicht mehr erwartet werden  
 kann. Durch Verwendung von Furnace-Ruß geringerer Parti-  
 kelgröße, hoher spezifischer Oberfläche bis 1000 m<sup>2</sup>/g

und gleichmäßiger Verteilung im Polymer wurden diese  
 Erscheinungen ausgeräumt. Mit 1%-iger Rußbeimenge

konnte vergleichsweise die Transmission einer 250 µm  
 LDPE-Folie im Laserwellenbereich auf 35% gedrückt  
 werden.

Für dieses Einsatzgebiet ist eine oder beide den Schlauch bildenden Folien für den Wasseraustritt in Abständen gelocht. Das Verfahren ist aber nicht auf die Verbindung von zwei Folien beschränkt, es können  
5 eine weitere Bahn oder Abschnitte angebracht sein. Beispielsweise hat es sich als vorteilhaft erwiesen, die vorher angebrachten Löcher mit einer angehefteten überwölbenden Abschirmung zu versehen, damit Wasser nur sichernd austritt. Eine weitere Ausgestaltung der  
10 Erfindung sieht vor, daß mehrere parallel laufende Kammern mit Hilfe unterbrochener bis durchgehender Nähte gebildet sind. Für verschiedene Anwendungsfälle der Bewässerung mit spezifischem Wasserbedarf sind Löcher bestimmter Größe in definierten Abständen angeordnet und  
15 der geschweißte Schlauch in vorgegebenen Längen konfektioniert. Für Transport und vereinfachtes Auslegen des nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Bewässerungsschlauches hat sich das raumsparende Aufwickeln bewährt.

20 Die erfindungsgemäße Optimierung der Wechselwirkung zwischen Laserstrahlung und Polymer führte zu einem industriellen Schweißverfahren für thermoplastische Folien, dessen Schweißgeschwindigkeit die herkömmlichen Methoden um das Mehrfache übertrifft. Ein weiterer Vorteil liegt in der ausgeprägten Konstanz der Schweißnahtqualität. Die erreichte Dichtigkeit und der  
25 erzielte außergewöhnlich hohe Schweißfaktor d.h. das Verhältnis von Naht- zu Materialfestigkeit markieren einen deutlichen Fortschritt in der Schweißtechnologie. Die früher erforderliche Sicherheitszugabe in der Folienstärke und damit der Materialmehrverbrauch können  
30 bei Einsatz dieses Verfahrens beträchtlich zurückgenommen werden. Diese Vorteile der Erfindung ermöglichen nicht nur die Verbesserung bestehender, sondern  
35 auch die Schaffung neuer, zusätzlicher Produkte wie den vorstehend beschriebenen Bewässerungsschlauch.

und Verlauf (Muster) variiert werden kann, die Schweiß-  
vorrichtung derart gestaltet ist, daß die Folien ent-  
lang dem Intensitätsprofil der Strahlen konvergieren,  
die Schweißgeschwindigkeit mit dem Ziel homogener,  
5 fester und wasserdichter Nähte zu steuern und den  
Kunststoff durch geeignete Additive so zu modifizieren,  
daß eine möglichst verlustlose Umwandlung der einge-  
strahlten Energie in Schmelzwärme erzielt wird.

10 Diese Aufgabe wird bei einem gattungsgemäßen Verfahren  
durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1 ge-  
löst.

Für die ökonomische Ausnutzung der Laserenergie stell-  
15 ten sich in Versuchen besonders Polyäthylene wegen  
ihres weiteren Schmelzbereichs gegenüber anderen Ther-  
moplasten für automatischen Betrieb als geeignet her-  
aus. Mit Additiven, für die im Laserwellenbereich ein  
Absorptionspeak ermittelt wurde, wie anorganische Mi-  
20 neralien und Industrieprodukte, wird die geringe Eigen-  
absorption des Polyäthylens verstärkt. Es gelang durch  
das Einarbeiten von reflektierenden Metallpartikeln in  
das thermoplastische Grundmaterial, eine Mehrfachre-  
flexion der Einstrahlung innerhalb der Folie zu erzie-  
25 len und damit wiederholte interne Absorption. Diese  
Maßnahmen, aber auch die Kombination von absorbieren-  
den Füllstoffen mit reflektierenden Partikeln ergeben  
eine wesentlich bessere Ausnutzung der Laserstrahlung.  
Es wurde gefunden, daß schuppenförmiger Aluschliff be-  
30 sonders geeignet ist, weil über die Folienführung die  
Schichtung dieser Schuppen im Polymer der Strahlungs-  
intensität angepaßt werden konnte.

Das entwickelte Verfahren ließ erstmalig die außeror-  
35 dentlich kostengünstige Herstellung eines Schlauches  
zu, der für Bewässerungszwecke verwendet wird.

## Beispiel 2

Ein weiterer wirtschaftlicher Fortschritt ist aufbauend auf vorstehend beschriebener Weiterentwicklung des Laserschweißens durch die folgende Innovation erreicht worden. Ausgehend von der gewonnenen Erfahrung, daß auch die erzwungene Absorption der Laserstrahlung im gefärbten Material über Wärmeleitung noch nicht zur vollständigen Energieverwertung führt, sollte eine Problemlösung gefunden werden, die Wärmeübertragung durch Leitung zu vermeiden. Erfindungsgemäß wird die Folie daher durch reine Strahlungsenergie und deren Absorption im Grundmaterial verschweißt. Es sind dazu in das transparente Material feine Metallpartikel in gleichmäßiger Verteilung eingearbeitet, die den energiereichen Laserstrahl mit zunehmender Eindringtiefe mehr und mehr auf-fasern. Wenn die Dosierung richtig gewählt ist, geht kaum mehr Strahlung durch Transmission verloren. Vorzugsweise wird zu diesem Zweck dem Thermoplast feiner Alu-schliff beigegeben, der bei der Extrusion zu Folie längs ausgerichtet wird. Damit ist eine größtmögliche Flächen-  
deckung schon bei einem geringen Mischungsanteil zu er-reichen. Die Alupartikel wirken als Streuzentren, da ihre Flächen einen ihrer Größe entsprechenden Bruchteil des Strahlenbündels ungerichtet in den als Bindemittel dienenden Kunststoff bis zum Auftreffen auf das nächste Partikel reflektieren usw. An Kanten werden die Strahlen gebrochen. Dieser Vorgang wiederholt sich solange, bis sich die Strahlung trotz der geringen Absorptionsfähig-keit der Thermoplastmoleküle im Nahtbereich sukzessiv totgelaufen hat. Die Verfahrensgeschwindigkeit wurde so eingestellt, daß die eingestrahlte Laserenergie durch die beschriebene Vielfachstreuung und Folienführung vollständige Extinktion erfährt und dabei die Mass bis zum Schmelzpunkt plastifiziert. Fügt man nun die der-artig aufgeschmolzenen Nahtbereiche zweier Folien zusam-men, so erhält man eine hervorragende Schweißverbindung.

Weitere Beispiele der erfindungsgemäß geführten Wechselwirkung zwischen Strahlung und Folie enthält folgende Tabelle:

5	Folientyp	Stärke	Schweißverfahren	Leistung m/min
	PP	200 µm	Wärmekontakt	6
	PP, natur	400 "	Lichtstrahl	6
10	PE	200 "	Wärmekontakt	8
	LDPE, natur	200 "	Laser	15
	LDPE, TiO <sub>2</sub>	200 "	Laser	19
	LDPE, schwarz	300 "	Laser	21
	LDPE, mit Alu	300 "	Laser	35
15	MDPE, schwarz	200 "	Laser	24
	MDPE, schwarz und Alu	200 "	Laser	32
	MDPE, mit Alu schwarz	200 "	Laser	46
20	MDPE, mit Alu	200 "	Laser	60

Das Wirkungsprinzip ist also ein ganz anderes als durch Wärmeleitung von der Außenseite bei der herkömmlichen Verschweißung von thermoplastischen Stoffen.

25 Gegenstand der Erfindung ist die Tiefenwirkung durch erhöhte Absorption der eingestrahlten Energie. Es wurden dazu mehrere Wege beschrieben: durch Verteilung von stark absorbierenden Fremdpartikeln im Gefüge des Kunststoffes und von jenen ausgehende dreidimensionale Wärmeleitung, durch Einbetten von Metallpartikeln, die eine Mehrfachreflexion mit fortschreitender Absorption bewirken sowie eine Kombination beider Maßnahmen. Die

30 mehrfache Arbeitsgeschwindigkeit wird bei der Laserschweißung des erfindungsgemäß mit feinem Aluschliff ausgerüsteten, für die Laserstrahlung sonst weitgehend transparenten, Kunststoffes erreicht, weil die Durchwär-

35

mung des Nahtvolumens nicht mehr abgewartet werden muß, sondern das partielle Schmelzen des Polymers mit dem Auftreffen des Strahls spontan einsetzt und über die Einwirkstrecke andauert.

5

Da Energie wegen der geringen Wärmeleitfähigkeit der Thermoplaste nur langsam abfließt, regt die von den Streuzentren mehrfach reflektierte IR-Strahlung die Makromoleküle praktisch von allen Seiten gleichzeitig und unmittelbar zum Schwingen an. Die Temperaturbewegung erzeugt innerhalb von Millisekunden eine Schmelze im bestrahlten Bereich. Die erfindungsgemäße Einbettung von Streuzentren hat den Vorteil gegenüber früheren Versuchen, Folien mit Laserstrahlung zu schweißen, daß der Strahlengang vervielfältigt wird. Bis auf einen geringen Anteil an Remission an der Folienoberfläche kann also die volle Laserleistung in Schwingungsenergie d.h. Schmelzwärme umgesetzt werden: der Wirkungsgrad ist deshalb wesentlich höher. Die Aluminiumpartikel selbst absorbieren nur in geringem Maße Energie und leiten wenig Wärme an das Material ab.

10

15

20

25

Die Wirkungsweise der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und wird im folgenden näher beschrieben. Es zeigen

Figur 1 die Intensitätsverteilung im Laserstrahl und dieser angepaßte Folienführung,

30

Figur 2 in perspektivischer Darstellung die Bündelung sowie räumliche und zeitliche Führung zweier Laserstrahlen und

35

Figur 3 ein typisches mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens aus der optimierten Folie hergestelltes Produkt.

Mit der erfindungsgemäßen Steuerung des Verfahrens erreicht man also, daß auf der Vorwärmstrecke die schwächere IR-Strahlung im Mantel des Strahlenkegels auf die im Verhältnis zur Dicke großflächigen Metallschuppen auftrifft und in Richtung der Foliendicke fortlaufend aufgefasert und reflektiert wird. Auf dem Wege in die Fügeebene beeinflusst dann zunehmend tangential der heiße Kern das System. Der Strahlkern tritt auch noch im Walzenspalt hindurch, wobei nur die wenigen Mikrometer dicken Seitenkanten der Partikel Streuung verursachen und übt seine Tiefenwirkung über mehrere Millimeter bis zur vollständigen Extinktion aus. Dabei wird der erforderliche Rest an Schmelzwärme erzeugt, begleitet von fortschreitender Reflexion zwischen den Schuppen. Auf dieser Schweißstrecke durchdringen die Schmelzen der Folien einander und geben auf der anschließenden Kühlstrecke ihre Wärme an das benachbarte Material bzw. an die Umgebungsluft und Bandführung ab.

Der gebündelte Laserstrahl 1 in Figur 1 ist im Konvergenzbereich auf den Spalt zwischen den Walzen W1, W2 gerichtet, so daß er sich skispitzenförmig auf den beiden von den Walzen geführten Folien 2 abbildet. Auf diesen Hyperbelflächen werden die Folien vorgewärmt, bis sie auf ihrem weiteren Wege den heißen Kern einschließend auf der Schweißstrecke 4 zusammenlaufen.

Der Laserstrahl 1 weist über seinen Durchmesser d annähernd eine Verteilung der IR-Intensität I gemäß der Gauß'schen Glockenkurve auf d.h. bei einem schwachen Außenring eine hohe Energiedichte im Kern (cirka  $10^7$  Watt/cm<sup>2</sup>). Diesem Energieangebot steht ein hoher Bedarf an Schmelzwärme des Kunststoffes gegenüber. Um im Schmelzvorgang die Energieverteilung weitgehend auszunutzen, müssen ihr der Weg und die Verweildauer des Schweißgutes durch entsprechend Geometrie der Folienführung angepaßt werden.



Die vollständige Ausschöpfung der Laserleistung erfolgt aber erst, wenn auch die Absorption im Kunststoff dem Energieprofil entsprechend ansteigt. Dazu ist die mechanische Anordnung gemäß Figur 1 derart dimensioniert worden, daß sie die Kunststoffmoleküle mit den eingelagerten Partikeln z.B. Aluschliff im Einwirkungsbereich des Laserstrahls um den Zentriwinkel  $Z$  dreht, d.h. gleichzeitig, daß der Auftreffwinkel des Laserstrahls mit den Folienbahnen auf diesem Umfangsweg von  $Z$  gegen Null im Walzenspalt geht.

In der Figur 2 ist als Beispiel eine Vorrichtung zum Verschweißen von Kunststoff-Bändern 2 mit Hilfe gebündelter Laserstrahlen dargestellt. Zwei Laserstrahlen 1 bilden mit ihren Achsen eine optische Ebene, in der die Bänder durch die Walzen  $W1$ ,  $W2$  zusammengeführt werden. Die Walzen sind zwischen den Sammellinsen  $S$  und ihren Brennpunkten im konvergenten Bereich angeordnet. Durch Verändern des Abstands zwischen den Sammellinsen und der Abbildung der Strahlen im Walzenspalt werden Nahtbreite und Schweißtiefe je nach Anforderungen eingestellt, der Abstand der Nähte voneinander ist durch Drehen der Linsen zu regulieren. Die Walzendurchmesser sind dem Querschnitt und der Intensitätsverteilung im Strahl derart angepaßt, daß die Folien 2 im Einwirkungsbereich des gebündelten Strahls erst eine Vorwärmzone durchlaufen, bevor sie in der optischen Ebene zwischen den Walzen miteinander verschweißt werden. Mit Hilfe von undurchlässigen Blenden  $b$  können der Strahlengang und damit die fortlaufenden Nähte unterbrochen werden, wenn z.B. für Bewässerungsschläuche Wasserauslässe benötigt werden. Zum seitlichen Nahtversatz durch nur zeitweiliges Auseinanderrücken, verbunden mit Unterbrechungen der Nähte sind die Linsen ebenfalls geeignet. Verschiedenartige Nahtmuster lassen sich so herstellen.

Da die Laserstrahlung mit einer Wellenlänge von 10,6  $\mu$ m nicht sichtbar ist, werden die zum Schweißen benötigten Elemente wie Umlenkspiegel, Strahlenteiler, Linsen 5 und Walzen im Probelauf mit Folie dem Schweißergebnis entsprechend justiert. Da aber industrielle Massenprodukte wie extrudierte Folien Dickenschwankungen aufweisen, erhielt die in Figur 2 vereinfacht dargestellte Schweißeinrichtung berührungslos arbeitende Temperaturfühler 3, die mehrere Regeleinrichtungen ansteuern.

10 Durch Vergleich der Wärmeabstrahlung der Nähte wird beim ersten Abgleich die optische Ebene 4 fixiert. Temperaturunterschiede zwischen Ober- und Unterseite der Nähte signalisieren Dickenunterschiede der Folien, worauf mit vertikalem Nachstellen der Walzen reagiert

15 wird. Ein optimales Schweißergebnis soll fortlaufend sichergestellt werden. Es liegt vor bei gleich starker Abstrahlung aller vier Nahtoberflächen. Auch dieser Wert wird elektronisch mit dem gespeicherten Kennfeld der Maschinensteuerung verglichen und z.B. bei steigender Tendenz (wegen höherer Laserleistung) die Schweißgeschwindigkeit erhöht.

20

Der in Figur 3 dargestellte Bewässerungsschlauch 5 veranschaulicht wie das erfindungsgemäße Verfahren eingesetzt werden kann. Basierend auf dieser Ausführungsform sind vielfache Varianten, auch mit mehreren Kammern und unterbrochenen Nähten, denkbar. Der Schlauch 5 besteht aus zwei an sich gleichartigen Bändern 2 aus Kunststoff, von denen in dieser Ausführungsform eines in Abständen

25 gelocht und mit einem schirmartigen Folienabschnitt 6 versehen ist. Diese Abdeckung bewirkt, daß aus dem Loch spritzendes Wasser nur tropfend abgegeben wird. Die Abdeckung 6 kann aufgeklebt oder im schraffierten Bereich

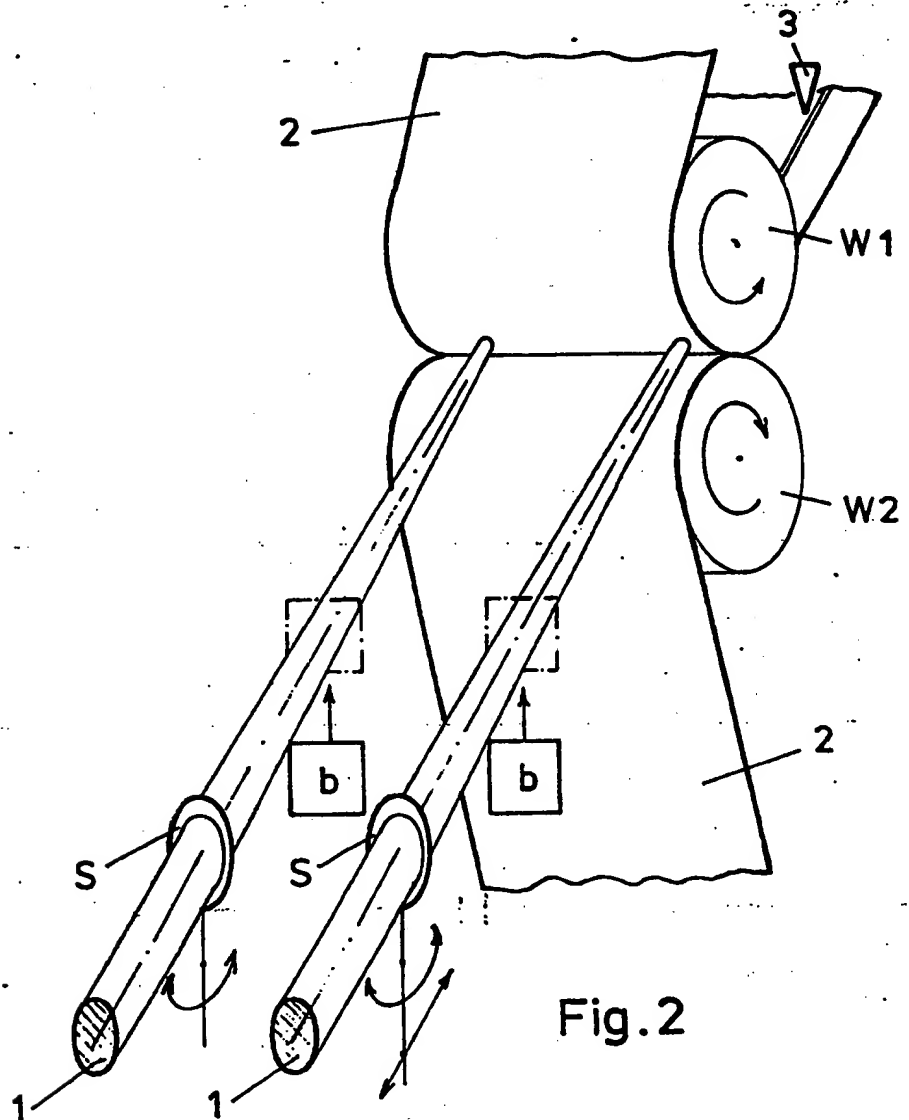
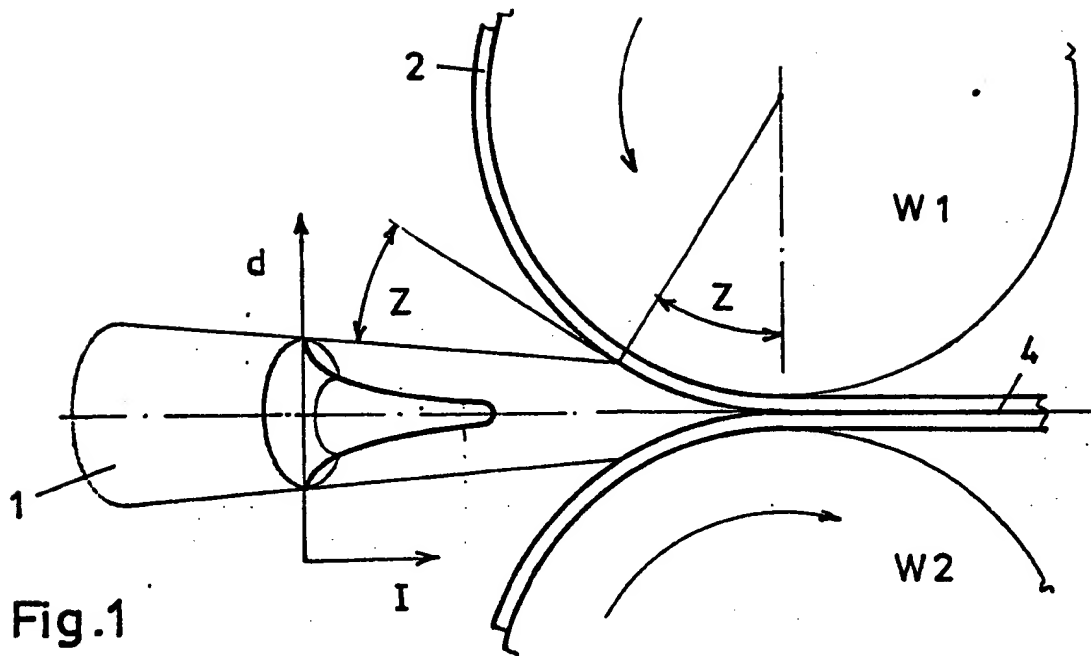
30 7 aufgesiegelt sein.

Patentansprüche

1. Verfahren und Folie zum Verschweißen von bandförmigem Material mit Laserenergie, wobei mindestens ein gebündelter Laserstrahl in die Fügeebene zweier zwischen Walzen zusammenlaufenden, zu verschweißenden Kunststoffbahnen gerichtet ist, dadurch gekennzeichnet, daß
  - a) der Kunststoff eine thermoplastische Folie ist,
  - b) in den Kunststoff eingearbeitete Zuschlagstoffe die Umwandlung der eingestrahlten Laserenergie in Schmelzwärme verbessern,
  - c) die Kunststoff-Folien der Intensitätsverteilung im Laserstrahl entsprechend mit sich änderndem Einfallswinkel von teilweiser normaler Einstrahlung am Rande des Strahlenkegels bis zu tangentialer Einstrahlung im Kern des Strahls geführt werden,
  - d) der oder die Strahlen räumlich und zeitlich steuerbar sind,
  - e) die Walzen in ihrem Abstand zueinander und zur optischen Ebene verstellbar sind,
  - f) die Wärmeabstrahlung einer oder mehrerer Nähte an mindestens einer Oberfläche zur Steuerung der Schweißgeschwindigkeit herangezogen wird,
  - g) die Geschwindigkeit des Folientransports geregelt wird
  - h) die verschweißten Folien im direkten Anschluß an den Schweißvorgang abgekühlt und weiterverarbeitet werden.
2. Folie nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß vorzugsweise Polyolefine, insbesondere mitteldichte Polyäthylene eingesetzt werden.
3. Folie nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß in den Kunststoff im Laserwellenlängenbereich absorbierende Partikel eingearbeitet sind, wie  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  oder Ruß.

4. Folie nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß in das Basismaterial die Strahlung reflektierende Metallpartikel eingearbeitet sind.
- 5 5. Folie nach Patentanspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß diese Metallpartikel schuppenförmig gestaltet und mit ihrer größten Erstreckung in Laufrichtung der Folienbahn ausgerichtet sind.
- 10 6. Folie nach Patentanspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß bei Polyäthylen 2 Gewichtsprozent schuppenförmiger Aluschliff eingesetzt ist.
- 15 7. Verfahren und Folie nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zwei mit Metallschuppen durchsetzte Folien in einem Walzenspalt so zusammengeführt werden, daß sie den Strahl umschließen und ein seitliches Austreten des Strahls durch fortlaufende Reflexion aufeinander verhindern.
- 20 8. Verfahren und Folie nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die in den Kunststoff eingearbeiteten Metallschuppen zu Beginn der Strahleinwirkung die Transmission reduzieren und die eingestrahlte Energie aufeinander reflektieren, anschließend aber dem dann tangential eintretenden Strahl nur noch die geringe Dicke entgegenstellen.
- 25 9. Verfahren nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß Folien mit Hilfe zweier zeitweilig unterbrochener bis fortwährend wirksamer Strahlen zu einer schlauchartigen Bahn verbunden werden.
- 30 10. Verfahren nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß
- 35

- a) eine oder beide Folienbahnen in Abständen gelocht werden,
- 5 b) die verschweißten Folien mit einer weiteren Bahn oder Abschnitten verbunden werden,
- c) schlauchartige Bahnen mit parallelen Kammern und streckenweise unterbrochenen Nähten gebildet werden,
- 10 d) die verschweißten Bänder in einstellbare Längen geschnitten werden und
- e) das geschweißte Produkt aufgewickelt wird.



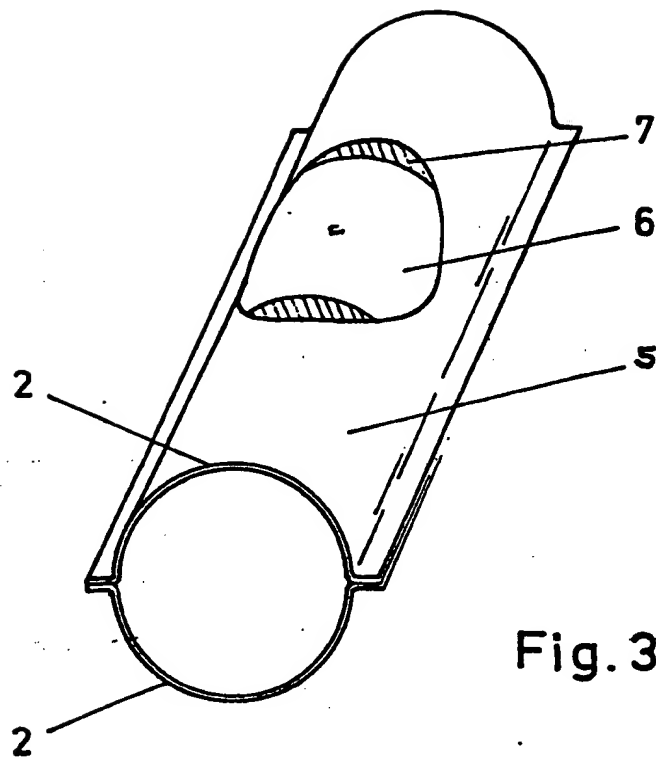


Fig. 3



Europäisches  
Patentamt

# EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

0126787

Nummer der Anmeldung

EP 83 10 5219

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl. 7)
A	DE-A-1 479 239 (FARBWERKE HOECHST AG) * Beispiel 3; Anspruch 5 *	1-3	B 29 C 27/02 B 23 K 26/00
A	AT-B- 289 377 (WINDMÖLLER & HÖLSCHER) * Seite 2, Zeilen 4-8, 15-21, 49-54; Figur *	1,2,9	
A	US-A-3 596 045 (K.-H. STEIGERWALD et al.) * Spalte 1, Zeilen 25-30; Spalte 2, Zeilen 18-26 *	1	
A	Patent Abstracts of Japan Band 5, Nr. 193, 9. Dezember 1981 & JP-A-56-114590	1	
A,D	DE-A-2 647 082 (UNION CARBIDE CORP.) * Seite 9, Zeilen 1-14; Seite 12, Zeilen 25-27; Figur 1 *	1	
A	US-A-3 974 016 (V.E. BONDYBEY) * Zusammenfassung; Figur 1 *		
A,D	DE-B-2 826 856 (WINDMÖLLER & HÖLSCHER)		
A,D	DE-A-1 629 219 (WINDMÖLLER & HÖLSCHER)		
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt.			
Recherchenort BERLIN		Abschlußdatum der Recherche 24-08-1983	Prüfer BRUCK

EPA Form 1503, 03.82

KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTEN  
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet  
Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie  
A : techn. logischer Hintergrund  
O : mündliche Offenbarung  
P : Zwischenliteratur  
T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze

E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist  
D : in der Anmeldung angeführtes Dokument  
L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument  
& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument